

**Tomáš SEIDLER<sup>1</sup>, Denisa CIHLÁŘOVÁ<sup>2</sup>, Marek MIHOLA<sup>3</sup>, Marián KRAJČOVIČ<sup>4</sup>**

**PREDIKCE PORUCH POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ NA PODDOLOVANÉM ÚZEMÍ**

**ROADS DISTURBANCES PREDICTION ON UNDERMINED AREA**

**Abstrakt**

Příspěvek pojednává o možnostech predikovat vznik poruch pozemních komunikací vlivem důlní činnosti. Statisticky hodnotí dostupná archivní data o poruchách ve vztahu k predikčním poklesovým mapám. Nastihuje dva možné modely predikce budoucích poruch od důlních škod a hodnotí jejich věrohodnost.

**Klíčová slova**

Poddolované území, poklesová mapa, systém hospodaření s vozovkou.

**Abstract**

The paper discusses how to predict road disturbances due to mining activities and statistically evaluates the available data of disturbances on roads in relation to the prediction maps of subsidence. It outlines two possible prediction models of future disturbances caused by mining influences and assesses their credibility.

**Keywords**

Undermined area, map of subsidence, pavement management system.

## **1 ÚVOD**

V dnešní době vyznačující se velkými škrty v rozpočtu a krácením investic ve všech odvětvích, je důležité více než kdy jindy správně každou investici zvážit. V oblasti dopravních staveb a pozemních komunikací je potřeba věnovat pozornost kvalitní údržbě. Nové investice se oddalují, a proto musí být zachovaná v co nejvyšší kvalitě stávající silniční síť. Ideálním prostředkem pro řešení této problematiky by bylo systémové a důsledné používání systému hospodaření s vozovkou (SHV). Jeho nasazení v prostředí české republiky však není stále plnohodnotné a systémy a správa je v různých krajích různá. Bohužel nastavení SHV, v dobách kdy byly investice na dopravní infrastrukturu, se příliš nepodařilo a v současné době již toto nebude zcela jednoduché. Počáteční investice pro nastavení SHV jsou totiž poměrně vysoké, nicméně správně fungující SHV pak dokáže v každém roce velkou část finančních prostředků ušetřit.

---

<sup>1</sup> Ing. Tomáš Seidler, CSc., Katedra dopravních staveb, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 981, e-mail: tomas.seidler@vsb.cz.

<sup>2</sup> Ing. Denisa Cihlářová, Ph.D., Katedra dopravních staveb, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 315, e-mail: denisa.cihlarova@vsb.cz.

<sup>3</sup> Ing. Marek Mihola, Ph.D., Katedra dopravních staveb, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 981, e-mail: marek.mihola@vsb.cz.

<sup>4</sup> doc. Ing. Marián Krajčovič, CSc, Katedra dopravních staveb, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 336, e-mail: marian.krajcovic@vsb.cz.

Například dle studie přínosů používání SHV [1] ve státě Arizona, USA, z roku 2000, každý dolar utracený na provoz, vývoj a správu SHV znamená 30 dolarů úspor ve výdajích na opravy vozovky. Pokud by se započítaly také náklady uživatelů silniční sítě, úspora na každý dolar vynaložený na SHV byla přibližně 250 dolarů. Tato čísla jsou výsledkem šestnáctiletého používání SHV.

Obecně jsou přínosy používání SHV nesporné, pro jeho spuštění je však spousta překážek. V MSK je jednou z překážek jeho specifická poloha na území s dlouhou historií důlní činnosti. Setkáváme se s dvěma oblastmi, důlně aktivních oblastí v okrese Karviná a oblastí s doznívajícími, nebo dozněnými vlivy v okrese Ostrava. Dále se článek věnuje okresu Karviná, kde jsou vlivy z poddolování stále aktivní a lze zde tedy získat data pro další analýzy.

## 2 KLASIFIKACE OBLASTÍ A PORUCH

Vlivy důlní činnosti jsou dle českých předpisů řešeny v rámci ČSN 73 0039 Navrhování objektů na poddolovaném území, tj. [2]. Volba zajištění stavby proti vlivům poddolování je dle [2] vždy založena na několika faktorech:

- typ a velikost spojitých nebo nespojitých deformací povrchu,
- doba, po kterou je objekt vystaven vlivům poddolování,
- význam a předpokládaná životnost stavby,
- konstrukční řešení objektu,
- požadavky na funkci a technologické zařízení.

Předpokládaný vliv poddolování je tříděn dle parametrů terénu (vodorovné poměrné přetvoření „ $\varepsilon$ “, poloměr zakřivení „ $R$ “ a naklonění „ $i$ “) do tzv. skupin stavenišť. Těchto skupin je pět, přičemž staveniště „V“ je takové, které nevyžaduje zvláštní opatření. Staveniště IV a III lze zajistit v rámci ekonomicky akceptovatelných opatření. Staveniště II a I nejsou pro stavbu vhodná, použít je lze pouze v odůvodněných případech. Obdobou tohoto třídění v rámci českých podmínek je třídění do stavenišť poddolování užíváno i v jiných státech (viz tabulka 1).

Tab. 1. Třídění poddolovaných území do stavenišť (zdroj : [2], [3])

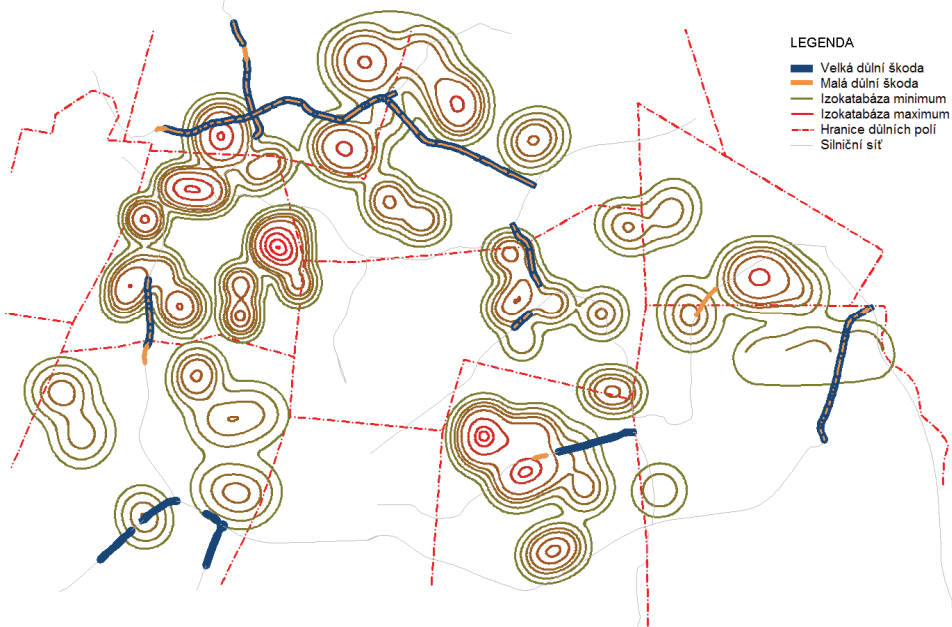
Skupina staveniště	ČR	Polsko	Ruská federace
I	$\varepsilon > 7 \cdot 10^{-3}$ $R < 3 \text{ km}$ $i > 10 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$	$\eta > 120 \cdot 10^{-6} / \text{m}$	$T < 10 \text{ mm/m}$ $\varepsilon < 7,5 \text{ mm/m}$ $\rho > 3 \text{ km}$
II	$7 \cdot 10^{-3} \geq \varepsilon > 5 \cdot 10^{-3}$ $3 \geq R > 7 \text{ km}$ $10 \cdot 10^{-3} \geq i > 8 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$	$T < 15 \text{ mm / m}$ $\eta < 120 \cdot 10^{-6} / \text{m}$ $\varepsilon > 9 \text{ mm/m}$	$T < 8 \text{ mm/m}$ $\varepsilon < 6 \text{ mm/m}$ $\rho > 5,5 \text{ km}$
III	$5 \cdot 10^{-3} \geq \varepsilon > 3 \cdot 10^{-3}$ $7 \geq R > 12 \text{ km}$ $8 \cdot 10^{-3} \geq i > 5 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$	$T < 10 \text{ mm / m}$ $\eta < 90 \cdot 10^{-6} / \text{m}$ $\varepsilon > 6 \text{ mm/m}$	$T < 5 \text{ mm/m}$ $\varepsilon < 3,5 \text{ mm/m}$ $\rho < 12 \text{ km}$
IV	$3 \cdot 10^{-3} \geq \varepsilon > 1 \cdot 10^{-3}$ $12 \geq R > 20 \text{ km}$ $5 \cdot 10^{-3} \geq i > 2 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$	$T < 5 \text{ mm / m}$ $\eta < 50 \cdot 10^{-6} / \text{m}$ $\varepsilon > 3 \text{ mm/m}$	$T < 4,5 \text{ mm/m}$ $\varepsilon < 2,5 \text{ mm/m}$ $\rho < 18 \text{ km}$
V	$\varepsilon = 1 \cdot 10^{-3}$ a méně $R = 20$ a více km $i = 2 \cdot 10^{-3}$ a méně rad	$T < 2,5 \text{ mm / m}$ $\eta < 20 \cdot 10^{-6} / \text{m}$ $\varepsilon > 1,5 \text{ mm/m}$	$T < 4 \text{ mm/m}$ $\varepsilon < 2 \text{ mm/m}$ $\rho > 20 \text{ km}$
$R$ – poloměr zakřivení, $\varepsilon$ – vodorovné poměrné přetvoření, $i$ – naklonění, $T$ – změna sklonu, $\eta$ – zakřivení terénu, $\rho = 1/h$			

Základní členění poruch vychází z typu deformací terénu a člení se na spojité a nespojitě. Tyto deformace mohou mít různý vliv na pozemní komunikaci. Poruchy vzniklé na silniční síti v okrese Karviná jsou správcem členěny na tzv. velké důlní škody (VDŠ) a malé důlní škody (MDŠ).

Mezi MDŠ patří zejména frézování krytu menších ploch (vysprávk), zálivka trhlín, úprava odvodnění, vyzvednutí poklopů kanalizačních šachet, dále opravy vybavení jako je osazení nových svodidel, výsadba nové zeleně, případně osazení nového svislého a vodorovného značení. Obecně lze MDŠ sloučit do kategorie poruch, které jsou do celkové částky přibližně 100 000 Kč. Mezi VDŠ patří všechny opravy většího rozsahu, tzn. opravy za více než 100 000 Kč. Nejčastěji mezi ně patří poruchy typu deformace povrchu, příčné trhliny, hrby, deformace směrové a výškové a celková denivelace povrchu.

### 3 ANALÝZA PORUCH A TVORBA MODELU PRO JEJICH PREDIKCI

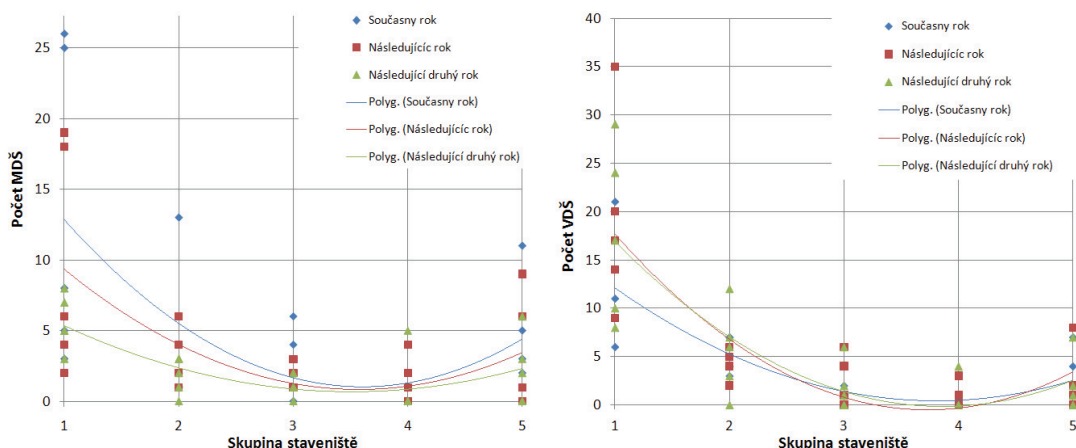
Poruchy zaznamenané na silniční síti v okrese Karviná za posledních 9 let byly statisticky zhodnoceny a zanalyzovány. Zůstalo zachováno třídění poruch na VDŠ a MDŠ. Základním cílem pro analýzu je otázka, kdy se porucha na silniční síti projeví v závislosti na její lokalizaci vůči tzv. poklesové mapě. Pro analýzu byly použity mapy předpokládaných poklesů pro jednotlivé roky tedy mapy prognózní, které byly zpracovány v programu ArcGIS. Z poklesových map tvořených izokatabázami bylo vypočítáno zakřivení (rastrový model), jež bylo kategorizováno do jednotlivých skupin stavenišť. Poruchy získané z archivu Správy silnic Moravskoslezského kraje (SSMSK) přiřazené na silniční síť byly následně lokalizovány vůči takto zpracovaným poklesovým mapám a mapám zakřivení ve snaze určit tzv. nejvýznamnější rok projevu vlivu poddolování na pozemních komunikacích při známé skupině stavenišť.



Obr. 1: Prognózní poklesová mapa pro rok 2003 spolu se záznamem poruch z téhož roku

#### 3.1 Určení nejvýznamnějšího roku

Pro určení nejvýznamnějšího roku plného projevu důlních škod na silniční síti byl výchozí předpoklad, že nejvyšší výskyt poruch bude právě v roce predikovaných poklesů. Další variantou je ta, že nejvýznamnější rok bude v roce následujícím po predikci, případně v následujícím druhém roce. Jako kritérium pro jeho stanovení byla brána skupina stavenišť I a II. Jedná se totiž o nejméně příznivou skupinu a u dalších tříd při menším přetvoření terénu může vznik a vývoj poruch postupovat pomaleji.



Obr. 2: Závislost vzniku VDŠ a MDŠ na skupině staveniště v čase

Z grafů na obr. 2, kde je výskyt VDŠ a MDŠ vyjádřen pomocí logaritmických křivek, vyplývá následující:

- Poruchy se na silniční síti projeví v aktuálním roce nejvíce v podobě MDŠ
- VDŠ se na silniční síti výrazněji projeví až v roce následujícím a druhém následujícím

Tento fakt může být způsoben několika faktory. Jednak zpracovaná data jsou záznamy o opravě poruch, jejich vznik tedy může být v čase posunut do doby dřívější. Tato skutečnost se v rámci MDŠ nemusí výrazně projevit, jelikož se převážně jedná o opravy menšího charakteru, jak již plyne z jejich finanční náročnosti. Naopak VDŠ jsou škody rozsahu většího a finančně, ale také organizačně, značně náročnější. Proto může být oprava poruchy v čase posunuta.

Zajímavá je také skutečnost, že výskyt poruch jak VDŠ tak i MDŠ znovu roste v nejméně ohrožené páté skupině staveniště. Tento fakt bude předmětem dalšího zkoumání.

### 3.2 Predikční modely vzniku poruch

Dalším krokem je stanovení predikce výskytu počtu důlních škod na dotčených komunikacích, v závislosti na skupině staveniště a poškození v roce současném „ $x$ “, následujícím „ $x + 1$ “ a následujícím druhém „ $x + 2$ “. Predikční rovnice byly sestaveny pomocí mnohonásobné lineární regrese. Pro sestavení predikčních rovnic byl použit celkový soubor, získaný analýzou dat v programu ArcGIS. Vždy byla porovnána poklesová mapa roku „ $x$ “ s počty poruch v letech „ $x$ “, „ $x+1$ “ a „ $x+2$ “ obdobně jako v případě zjišťování nejvýznamnějšího roku.

Pro sestavení predikční rovnice umožňující z hodnot a počtu poruch z roku „ $x$ “ získat počet poruch v roce „ $x + 1$ “, „ $x + 2$ “, byly použity dvě metody.

#### První metoda

Z informace o skupině staveniště a počtu důlních škod (PDŠ) v roce „ $x$ “ byly nejprve predikovány počet poruch pro rok „ $x + 1$ “ a tato hodnota byla dále použita pro predikci pro rok „ $x + 2$ “. Matematicky je tato závislost a predikce vyjádřena rovnicemi (1) a (2).

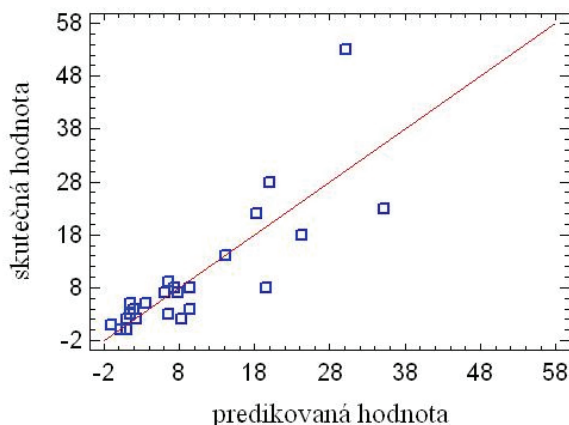
$$PDŠ_{x+1} = 5,2 + 0,8 \cdot DŠ_x - 1,2 \cdot TŘ, \quad (1)$$

$$PDŠ_{x+2} = 1,3 + 0,8 \cdot PDŠ_{x+1} - 0,3 \cdot TŘ, \quad (2)$$

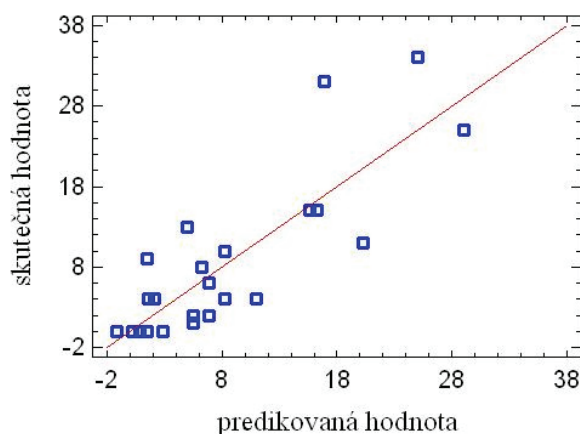
kde:

- $PD\check{S}_{x+1}$  – predikovaný počet důlních škod v následujícím roce,
- $PD\check{S}_{x+2}$  – predikovaný počet důlních škod v druhém následujícím roce,
- $D\check{S}_x$  – počet důlních škod v současném roce,
- $TR$  – skupina stavenišť.

Spolehlivost tohoto modelu je vyjádřena grafy na obrázcích 3 a 4. Červená přímka je spojnice bodů se 100% shodou ( $R=1$ ), tzn. situace, kdy predikovaná data jsou rovna datům výsledovým.



Obr. 3: Vztah mezi výsledovým a predikovaným počtem důlních škod v roce „ $x+1$ “



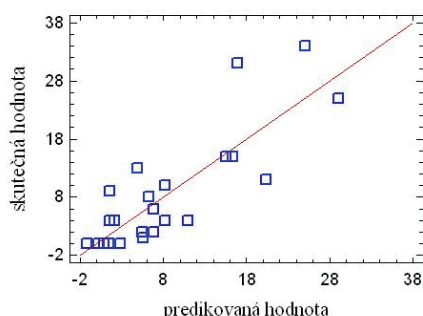
Obr. 4: Vztah mezi výsledovým a predikovaným počtem důlních škod v roce „ $x+2$ “

### Druhá metoda

Ze skupiny stavenišť a počtu důlních škod v roce „ $x$ “ byla přímo predikován počet poruch důlních škod v roce „ $x+2$ “.

$$PD\check{S}_{x+2} = 5,4 + 0,7 \cdot D\check{S}_x - 1,3 \cdot TR, \quad (3)$$

Spolehlivost tohoto modelu je vyjádřena grafem na obr. 5. Červená přímka je spojnice bodů se 100 % shodou ( $R=1$ ), tzn. situace, kdy predikovaná data jsou rovna datům skutečným.



Obr. 5: Vztah mezi skutečným a predikovaným počtem důlních škod v roce „ $x + 2$ “

Hodnota  $P$ -value je pro všechny výše uvedené predikční rovnice menší než 0,01, tzn. mezi proměnnými je statistický významný vztah, který se pohybuje v rozmezí 93 – 99 % na úrovni spolehlivosti. Korelační koeficient se nachází v rozmezí hodnot 0,83 – 0,84 což svědčí o relativně silném vztahu mezi predikovaným a skutečným počtem důlních škod. Při porovnání obou metod predikce bylo zjištěno, že oběma způsoby bylo dosaženo k téměř stejným výsledkům (korelační koeficient 0,99). Přičemž přesnější je metoda první (výpočet hodnoty „ $x+2$ “ z hodnoty „ $x+1$ “) ovšem na druhou stranu je časově náročnější a je nutné brát v úvahu, že výsledek může být zatížen chybou z již vypočtené hodnoty  $PD_{x+1}^{\hat{}}$ .

## 4 ZÁVĚR

Pokud lze ze stavu „ $x$ “ odvodit stav pro roky „ $x + 1$ “, „ $x + 2$ “, je možné zjistit stav pro rok „ $x + n$ “. Samozřejmě s omezenou přesností a v závislosti na dostupných mapových podkladech, či dostupných informacích o zatřídění do skupin stavenišť. Takováto predikce by mohla mít uplatnění v rámci SHV. Důlní škody jsou a stále budou do jisté míry nahodilý jev, ovšem alespoň v omezené míře se je podobnými metodami můžeme pokusit predikovat a na základě tohoto do budoucna vytvářet přímo částku v rozpočtu určenou na DŠ, případně rezervní fond. Financování DŠ je specifická problematika, ze zákona ji má v plné výši hradit provozovatel dolu, ovšem stále častěji se setkáváme s posudky definující poměrovou škodu vzniklou důlní činností a vzniklou běžným provozem. V dalším kroku by tedy měla být zapojeny informace o intenzitách dopravy a také finanční náklady.

## PODĚKOVÁNÍ

Príspevek byl realizován za finančního přispění Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR, projekt 1M0579, v rámci činnosti Centra integrovaného navrhování progresivních stavebních konstrukcí CIDEAS.

## LITERATURA

- [1] W. R. HUDSON, S. W. HUDSON, G. WAY, J. DELTON: *Benefit of Arizona DOT Pavement Management System after sixteen years experience*. Transportation Research Board meeting, January 2000, Washington D.C.
- [2] ČSN 73 0039 *Navrhování objektů na poddolovaném území*, Vydavatelství norem Praha, 1989.
- [3] H. WAGNER, E.H.R. SCHOMANN: *Surface effects of total coal-seam extraction by underground mining methods*. Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, vol 91, no. 7., Jul 1991. pp. 221-231.

## Oponentní posudek vypracoval:

Prof. Ing. Ivo Černý, CSc., Ostrava.

Ing. Petr Mondschein, Ph.D., Katedra silničních staveb, Fakulta stavební, ČVUT v Praze.